بررسی اثر زمین کردن سیم نول در کاهش عدم تعادل ولتاژ شبکه های فشار ضعیف

محمود اصغری فرد

شرکت توزیع نیروی برق تبریز

تبریز- ایران

کلمات کلیدی: عدم تعادل بار- عدم تعادل ولتاژ – مقاومت زمین – فشار ضعیف

چکیده:

خط مشی های مختلف جهت زمین کردن نقطه ستاره یا نول سیستم، رفتار سیستم را تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال حداکثر سطح جریان های خطای زمین و اضافه ولتاژ دائمی متاثر از نحوه زمین کردن سیستم می باشد، به طور کلی زمین کردن با امپدانس پایین متناظر با جریان های خطای زمین بالا بوده ولی اضافه ولتاژ پایین تر را تحت شرایط خطا در پی دارد و برعکس.

اگر عدم تقارنی در یکی از سطوح تولید، انتقال و یا توزیع باشد موجب ایجاد عدم تعادل ولتاژ مصرف کننده خواهد شد. با تمهیدات بعمل آمده در طراحی شبکه های برق، سطوح تولید و انتقال تقریباً متعادل می باشند و عمدتاً شبکه های توزیع به واسطه آرایش و تنوع مصرف کنندگان به صورت نامتعادل بهره برداری می شوند که همین مساله موجب عدم تعادل ولتاژ در این شبکه ها خواهد شد.

در این مقاله به بررسی عدم تعادل ولتاژ به واسطه بارگذاری نامتعادل و حوادث متداول شبکه های توزیع پرداخته شده و اثر زمین کردن سیم نول در طول شبکه در کاهش عدم تعادل ولتاژ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۱ـ مقدمه

خط مشی های مختلف جهت زمین کردن نقطه ستاره یا نول سیستم، رفتار سیستم را تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال حداکثر سطح جریان های خطای زمین و اضافه ولتاژ دائمی متاثر از نحوه زمین کردن سیستم می باشد، به طور کلی زمین کردن با امپدانس پایین متناظر با جریان های خطای زمین بالا بوده ولی اضافه ولتاژ پایین را تحت شرایط خطا در پی دارد و برعکس.

در شبکه های فشار ضعیف آرایش زمین کردن بایستی به گونه ای باشد که اولاً ولتاژ ایجاد شده بر روی تمامی قسمتهای رسانای بی حفاظ قابل لمس توسط انسان از سطح تماس خطرناک کمتر باشد ثانیاً تجهیزات مشترکین در اثر بروز اختلال در بخشی از شبکه (نظیر اتصال کوتاه، پارگی نول و ...) آسیب نبینند. در این مقاله به بررسی عوامل مسبب عدم تعادل ولتاژ در شبکه های توزیع فشار ضعیف پرداخته و نقش مقاومت زمین در میزان محدود نمودن عدم تعادل بررسی می شود.

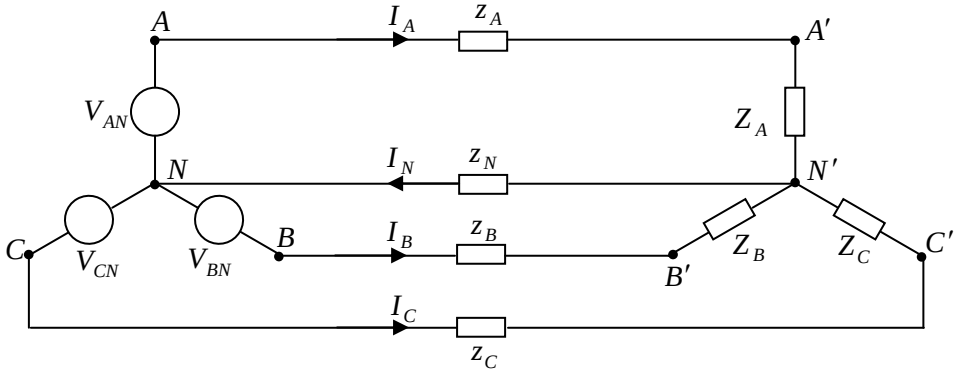
۲ـ بررسی عوامل ایجاد عدم تعادل ولتاژ در شبکه‌های فشار ضعیف

عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق می گردد که مقادیر ولتاژ با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. درصد عدم تعادل ولتاژ با نسبت اندازه مولفه توالی صفر به اندازه مولفه توالی مثبت مشخص می شود.[1]

اگر عدم تقارنی در یکی از سطوح تولید، انتقال و یا توزیع باشد موجب ایجاد عدم تعادل ولتاژ مصرف کننده خواهد شد. با تمهیدات بعمل آمده در طراحی شبکه های برق، سطوح تولید و انتقال تقریباً متعادل می باشند و عمدتاً شبکه های توزیع به واسطه آرایش و تنوع مصرف کنندگان به صورت نامتعادل بهره برداری می شوند که همین مساله موجب عدم تعادل ولتاژ در این شبکه ها خواهد شد[2,3].

در این مقاله به بررسی عدم تعادل ولتاژ به واسطه بارگذاری نامتعادل و حوادث متداول شبکه های توزیع پرداخته شده و اثر زمین کردن سیم نول در طول شبکه در کاهش عدم تعادل ولتاژ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است، در این مطالعه از اثر نوع آرایش شبکه های فشار ضعیف در عدم تعادل ولتاژ صرفه نظر شده است.

شکل (۱) یک مدار سه فاز ساده با اتصال ستاره را نشان می دهد که در آن امپدانس های بار و خطوط رابط نامتعادل در نظر گرفته شده است، در این مدار جریان سیم نول (I_N) صفر نبوده و نقاط N و N' هم پتانسیل نیستند که این اثر اصطلاحاً به جابه جایی نقطه نول مرسوم است.



شکل (۱): مدار سه فاز نامتعادل

پس از نوشتن روابط مداری داریم:

$$\begin{aligned} V_{AN'} &= V_{AN} - V_{NN'} \\ V_{BN'} &= V_{BN} - V_{NN'} \\ V_{CN'} &= V_{CN} - V_{NN'} \end{aligned} \qquad (۱)$$

$$I_A = \frac{V_{AN'}}{z_A + Z_A}$$

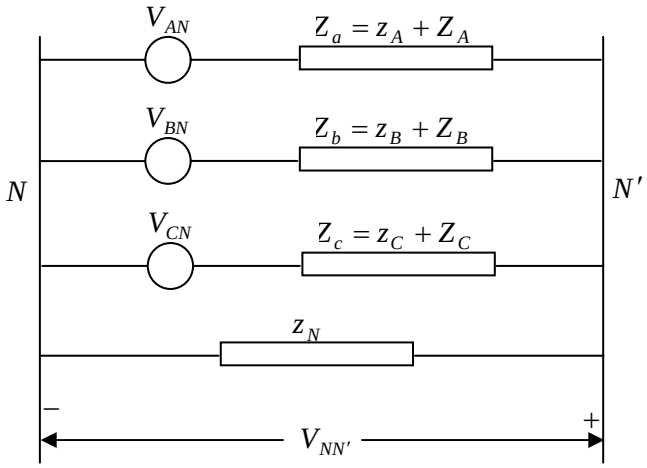
$$I_B = \frac{V_{BN'}}{z_B + Z_B} \qquad (۲)$$

$$I_C = \frac{V_{CN'}}{z_C + Z_C}$$

$$V_{A'N'} = V_{AN'} - z_A.I_A$$
$$V_{B'N'} = V_{BN'} - z_B.I_B \qquad (۳)$$
$$V_{C'N'} = V_{CN'} - z_C.I_C$$

لذا با داشتن $V_{NN'}$ قادر به تعیین تمام پارامترهای مورد نظر خواهیم بود.

مدار شکل (۱) مطابق شکل (۲) قابل ترسیم است.



شکل (۲): مدار سه فاز نامتعادل

با نوشتن رابطه ولتاژ – گره در شکل (۲)، ولتاژ $V_{NN'}$ قابل تعیین است:

$$V_{NN'} = \frac{Y_a.V_{AN} + Y_b.V_{BN} + Y_c.V_{CN}}{Y_a + Y_b + Y_c + y_N} \qquad (۴)$$

همانگونه که از رابطه (۴) قابل مشاهده است نا متعادلی شبکه (یعنی $z_A \neq z_B \neq z_C$) یا نامتعادلی بار (یعنی $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$) هر یک به تنهایی یا با هم میتوانند مسبب عدم تعادل ولتاژ گردند. در شرایط بهره برداری نامتعادل، ایده آل ترین وضعیت در صورتی است که $y_N = \infty$ باشد که در آن $V_{NN'} = 0$ خواهد شد و بدترین وضعیت با $y_N = 0$ رخ خواهد داد که $y_N = 0$ معادل پاره شدن سیم نول است.

به عنوان مثال با فرض $Z_A = 20 + j0$، $Z_B = 15 + j0$، $Z_C = 25 + j0$، $z_A = 2 + j0$، $z_B = 2 + j0$، $z_C = 2 + j0$ و منبع سه فاز متعادل با مقدار موثر فازی $220[V]$:

با وجود سیم نول اندازه ولتاژ جابه جایی نقطه نول و اندازه ولتاژ بار برابر است با:

$|V_{NN'}| = 10.7\ [V]$ ، $|V_{A'N'}| = 201.5\ [V]$ ،
$|V_{B'N'}| = 185.3\ [V]$ و $|V_{C'N'}| = 211.7\ [V]$

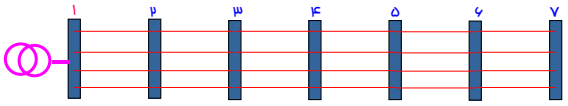
در صورت پاره شدن نول اندازه ولتاژ جابه جایی نقطه نول و اندازه ولتاژ بار برابر است با:

$|V_{NN'}| = 29.6\ [V]$ ، $|V_{A'N'}| = 205.2\ [V]$ ،
$|V_{B'N'}| = 170.3\ [V]$ و $|V_{C'N'}| = 226.1\ [V]$

ملاحظه می گردد پاره شدن سیم نول موجب تشدید عدم تعادل ولتاژ می گردد، به همین واسطه در شبکه های فشار ضعیف تقریباً از هر ده پایه یک نقطه را زمین می کنند که در ادامه به بررسی اثر این نقاط زمین شده در کاهش عدم تعادل ولتاژ پرداخته می شود.

۳ـ ارزیابی درجه عدم تعادل ولتاژ شبکه‌های فشار ضعیف

شکل (۳) یک فیدر فشار ضعیف توزیع را به عنوان نمونه نشان می‌دهد که اطلاعات این فیدر در جداول (۱) و (۲) آورده شده است.



شکل (۳): شبکه فشار ضعیف نمونه

جدول (۱): اطلاعات کلی شبکه فشار ضعیف نمونه

امپدانس هر مشترک $R_c = 20\ [\Omega]$
طول هر اسپان: $L = 30[m]$
مقطع سیم های فاز و نول برابر: $35\,mm^2$
جنس سیم ها: مسی

جدول (۲): اطلاعات مشترکین شبکه فشار ضعیف نمونه

شماره پایه	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تعداد مشترک فاز R	۲	۱	۲	۱	۲	۲
تعداد مشترک فاز S	۳	۰	۵	۲	۲	۱
تعداد مشترک فاز T	۳	۱	۱	۱	۵	۳

روابط حاکم بر این شبکه به شرح ذیل است:

(۵)

$$V_r^i = V_r^{i-1} - [Z_P(i-1,i).I_r(i-1,i) + Z_N(i-1,i).I_n(i-1,i)]$$
$$V_s^i = V_s^{i-1} - [Z_P(i-1,i).I_s(i-1,i) + Z_N(i-1,i).I_n(i-1,i)]$$
$$V_t^i = V_t^{i-1} - [Z_P(i-1,i).I_t(i-1,i) + Z_N(i-1,i).I_n(i-1,i)]$$
$$I_n(i-1,i) = I_r(i-1,i) + I_s(i-1,i) + I_t(i-1,i)$$

که در آن:

V_r^i: ولتاژ فاز r در پایه iام

V_s^i: ولتاژ فاز s در پایه iام

V_t^i: ولتاژ فاز t در پایه iام

$Z_P(i-1,i)$: امپدانس سیم فاز قطعه i-1 و i

$Z_N(i-1,i)$: امپدانس سیم نول قطعه i-1 و i

$I_r(i-1,i)$: جریان عبوری از قطعه i-1 و i در فاز r

$I_s(i-1,i)$: جریان عبوری از قطعه i-1 و i در فاز s

$I_t(i-1,i)$: جریان عبوری از قطعه i-1 و i در فاز t

$I_n(i-1,i)$: جریان عبوری از قطعه i-1 و i در سیم نول

می باشد.

با حل معادلات فوق ملاحظه می گردد که در این شبکه عدم تعادل بار موجب عبور جریان از سیم نول گردیده و همین مساله موجب نوسانی شدن ولتاژ فازها می‌گردد، ولتاژهای نتایج محاسبات ولتاژ فازی شبکه نمونه مورد مطالعه آن در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): نتیجه حل معادلات حاکم در شبکه نمونه

شماره شین	V_r	V_s	V_t
۱	*220*	*220*	*220*
۲	*218.8406*	*217.6546*	*217.3306*
۳	*217.8567*	*215.9021*	*215.2515*
۴	*217.1289*	*213.9812*	*213.4238*
۵	*216.5838*	*213.4767*	*211.3366*
۶	*216.1328*	*213.472*	*209.3245*
۷	*215.7861*	*213.5517*	*208.6039*

چگونه می‌توان میزان عدم تعادل ولتاژ این شبکه را ارزیابی نمود؟

در مطالعات سیستم‌های قدرت تجزیه بردارهای نامتقارن به بردارهای متقارن بسیار کاربرد دارد، در این روش بردارهای نامتقارن به سه بردار متقارن: مولفه مثبت (A^1)، مولفه منفی (A^2) و مولفه صفر (A^0) تجزیه می‌گردند که ارتباط بین این مولفه ها به شرح ذیل ا ست[3]:

- **بردار هر فاز برابر مجموع مولفه‌های مثبت، منفی و صفر همان فاز می‌باشد.**

$$\vec{A}_r = A_r^1 + A_r^2 + A_r^0$$
$$\vec{A}_s = A_s^1 + A_s^2 + A_s^0 \qquad (۶)$$
$$\vec{A}_t = A_t^1 + A_t^2 + A_t^0$$

ارتباط مولفه‌های مثبت:

$$A_r^1 = A_r^1 \times 1$$
$$A_s^1 = A_r^1 \times a^2$$
$$A_t^1 = A_r^1 \times a$$

ارتباط مولفه‌های منفی:

$$A_r^2 = A_r^2 \times 1$$
$$A_s^2 = A_r^2 \times a$$
$$A_t^2 = A_r^2 \times a^2$$

ارتباط مولفه های صفر:

$$A_r^0 = A_r^0 \times 1$$
$$A_s^0 = A_r^0 \times 1$$
$$A_t^0 = A_r^0 \times 1$$

که در آن:

$$a = 1\angle 120$$

۱ : نشانگر مولفه مثبت

۲ : نشانگر مولفه منفی

۰ : نشانگر مولفه صفر

می باشد.

دسته معادلات (۶) با توجه به ارتباط مولفه‌های مثبت، منفی و صفر به شرح ذیل قابل بازنویسی است:

$$A_r = A_r^1 + A_r^2 + A_r^0$$
$$A_s = a^2.A_r^1 + a.A_r^2 + A_r^0$$
$$A_t = a.A_r^1 + a^2.A_r^2 + A_r^0$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} A_r \\ A_s \\ A_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_r^1 \\ A_r^2 \\ A_r^0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} A_r^1 \\ A_r^2 \\ A_r^0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_r \\ A_s \\ A_t \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

لذا با داشتن مولفه‌های نامتقارن، می‌توان مولفه‌های متقارن آن را تعیین نمود.

نسبت قدر مطلق مولفه‌های صفر به مولفه مثبت (بر مبنای استاندارد) بیانگر شاخص عدم تعادل ولتاژ می باشد:

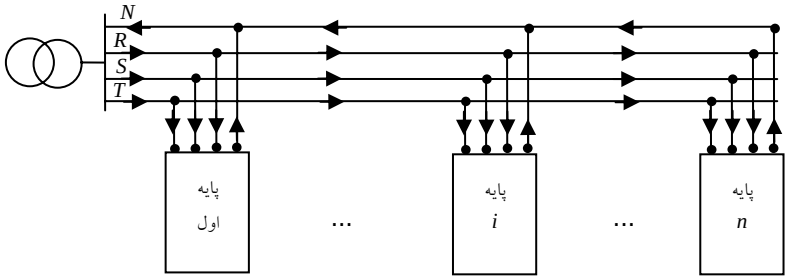
$$F^{unb} = \left| \frac{A_r^0}{A_r^1} \right| \qquad (۸)$$

لذا برای هر شبکه برای هر پایه شاخص عدم تعادل ولتاژ از رابطه (۸) تعیین و از میانگین‌گیری از این مقادیر متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ فیدر قابل تعیین می‌باشد که برای شبکه مورد بررسی این شاخص برابر ۰/۸۸٪ می‌باشد. مطابق استاندارد حداکثر مقدار مجاز عدم تعادل ولتاژ ۲٪ می باشد لذا در هر پایه بایستی مقدار شاخص از ۲٪ کمتر باشد.

٤ـ بررسی نقش زمین کردن شبکه فشار ضعیف در کاهش عدم تعادل ولتاژ آن

٤-١- در وضعیت بهره برداری عادی

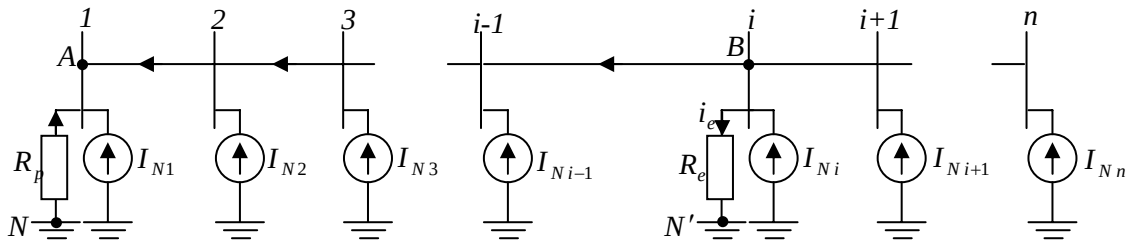
در این حالت فقط اثر عدم تعادل بار در عدم تعادل ولتاژ بررسی می گردد. شکل (۴) یک شبکه فشار ضعیف توزیع را با n پایه نشان می‌دهد.



شکل (٤): شبکه فشار ضعیف نمونه با n پایه

نامتقارن بودن بارهای تغذیه شونده از فازهای مختلف در هر پایه موجب جاری شدن جریان در سیم نول گردیده که به این واسطه اندازه ولتاژ فازهای مختلف یک پایه یکسان نبوده و میزان اختلاف آنها به جریان عبوری از سیم نول بستگی دارد. با زمین کردن نول در طول شبکه، احتمال صدمه دیدن مشترکین به واسطه قطع شدن نول کاهش می یابد، علاوه بر آن عبور بخشی از جریان نول از طریق نقطه زمین شده موجب کاهش عدم تعادل ولتاژ می گردد که در ادامه به بررسی چگونگی این موضوع پرداخته شده است.

مدار معادل سیم نول شبکه شکل (۴) مطابق شکل (۵) می باشد:



شکل (٥): مدار معادل سیم نول شبکه شکل (٤)

که در آن:

I_{Ni}: جریان تزریقی به سیم نول در پایه iام

R_p: مقاومت زمین محل پست

R_e: مقاومت زمین نقطه زمین شده

می باشد.

در مدار معادل شکل (۵) با نوشتن $k.v.l$ در مسیر $ABN'N$ جریان عبوری از نقطه زمین شده (i_e) قابل تعیین است:

$$r(1,2)\times[I_n(1,2)-i_e]+r(2,3)\times[I_n(2,3)-i_e]+\ldots + r(i-1,i)\times[I_n(i-1,i)-i_e]=i_e\times(R_p+R_e) \quad (۹)$$

با قرار دادن $r(i,j)=R_j$ و $I_n(i,j)=I_{nj}$ رابطه (۹) به شرح ذیل قابل بازنویسی است:

$$i_e=\frac{\sum_{j=1}^{i}(I_{nj}\times R_j)}{R_p+R_e+\sum_{j=1}^{i}R_j} \quad (۱۰)$$

که در آن:

$r(i,j)=Rj$: مقاومت بین شین iام و j ام

$I_n(i,j)=I_{nj}$: جریان نول بین شین iام و j ام قبل از زمین کردن شبکه

i_e: جریان عبوری از نقطه زمین شده

می باشد.

زمین کردن نول در طول شبکه کاهش جریان عبوری از سیم نول را مطابق رابطه (۱۰) در پی خواهد داشت که این مساله موجب کاهش عدم تعادل ولتاژ و بهبود نسبی پروفیل ولتاژ فازها خواهد گردید.

همانگونه که از رابطه (۱۰) قابل مشاهده است میزان جریان عبوری از نقطه زمین شده (i_e) بستگی به محل نقطه زمین شده، مقاومت زمین نقطه زمین شده و مقاومت زمین محل پست دارد

٤-۲- در وضعیت پاره شدن سیم نول

در رابطه (۴) با قرار دادن $y_N=\frac{1}{R_e+R_p}$ اثر پارگی نول در عدم تعادل ولتاژ شبکه قابل بررسی است.

در ادامه به روش جستجوی کامل به ازای مقادیر مختلف مقاومت زمین محل پست و نقطه زمین شده، به بررسی میزان عدم تعادل ولتاژ در فیدر نمونه شکل (۳) پرداخته شده است.

۵ـ بررسی تاثیر زمین کردن یک شبکه فشار ضعیف در کاهش عدم تعادل ولتاژ آن در وضعیت های مختلف

در این بررسی، شبکه نمونه شکل (۳) مورد مطالعه قرار گرفته که در جدول (۴) و (۵) نتایج محاسبات انجام شده در وضعیت بهره برداری عادی آن آورده شده است.

جدول (٤): بررسی میزان عدم تعادل ولتاژ در فیدر نمونه به ازای مقادیر مختلف مقاومت زمین محل پست و نقطه زمین شده

R_p+R_e [Ω]	در شرایط فعلی	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شماره مناسب ترین شین جهت زمین شدن	—	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
میزان شاخص عدم تعادل ولتاژ	۰/۸۸۰۲	۰/۸۷۲۲	۰/۸۷۴۸	۰/۸۷۶۱	۰/۸۷۶۹	۰/۸۷۷۵	۰/۸۷۷۹	۰/۸۷۸۲
متوسط جریان سیم نول [A]	۲۷/۹۵	۲۷/۵۸	۲۷/۷	۲۷/۷۶	۲۷/۸	۲۷/۸۲	۲۷/۸۴	۲۷/۸۶

در جدول (۵) پروفیل ولتاژ فیدر مورد مطالعه در چند حالت انتخابی از جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۵): پروفیل ولتاژ فیدر مورد مطالعه در چند حالت انتخابی

شماره شین	$R_p + R_e = 2[\Omega]$			$R_p + R_e = 3[\Omega]$			$R_p + R_e = 4[\Omega]$		
	V_r	V_s	V_t	V_r	V_s	V_t	V_r	V_s	V_t
۱	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*	*220.00*
۲	*219.04*	*218.27*	*217.52*	*219.03*	*218.27*	*217.52*	*219.03*	*218.27*	*217.52*
۳	*218.21*	*216.97*	*215.59*	*218.21*	*216.98*	*215.59*	*218.21*	*216.98*	*215.58*
۴	*217.66*	*215.54*	*213.81*	*217.65*	*215.56*	*213.81*	*217.65*	*215.56*	*213.80*
۵	*217.01*	*215.36*	*212.01*	*217.00*	*215.38*	*212.00*	*217.00*	*215.39*	*211.99*
۶	*216.36*	*215.60*	*210.34*	*216.36*	*215.62*	*210.33*	*216.35*	*215.63*	*210.32*
۷	*215.97*	*215.72*	*209.78*	*215.96*	*215.74*	*209.77*	*215.96*	*215.75*	*209.76*

با مقایسه جداول (۴) و (۵) ملاحظه می گـردد ***بر خلاف تـصور زمـین کـردن سـیم نـول در طـول شـبکه در وضـعیت بهره برداری عادی، تاثیر بسیار اندکی در بهبود پروفیل ولتـاژ و نیز شاخص عدم تعادل داشته است.***

در شبکه فشار ضعیف شکل (۳) پس از متعـادل سـازی مشترکین مطابق جدول (۶)، در دو وضعیت متعادل و نامتعادل به بررسی اثر زمین شدن سیم نول در کاهش عدم تعادل ولتاژ به واسطه پاره شدن سیم نول پرداخته شده است که نتـایج در جدول (۷) آورده شده است.

جدول (٦): اطلاعات مشترکین متعادل سازی شده شبکه فشار ضعیف نمونه

شماره پایه	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تعداد مشترک فاز R	۲	۱	۳	۱	۳	۲
تعداد مشترک فاز S	۳	۰	۲	۲	۳	۲
تعداد مشترک فاز T	۳	۱	۳	۱	۳	۲

جدول (۷): بررسی میزان عدم تعادل ولتاژ در فیدر نمونه به ازای پارگی سیم تول در نقاط مختلف

محل پارگی سیم نول: قطعه ۳-۲									
وضعیت نامتعادل	بدون زمین کردن	متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۳/۱	حداقل ولتاژ $[V]$	۲۰۰	حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۴		
	با زمین کردن	$R_p + R_e$ $[\Omega]$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۲/۳۶	٪۲/۵۶	٪۲/۶۸	٪۲/۷۵	٪۲/۸	٪۲/۸۴	٪۲/۸۷
		حداقل ولتاژ $[V]$	۲۰۳/۴	۲۰۲/۴۵	۲۰۱/۹	۲۰۱/۵۵	۲۰۱/۳	۲۰۱/۱	۲۰۰/۹۷
		حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۹۹/۳	۲۳۰/۶	۲۳۱/۳	۲۳۱/۷۶	۲۳۲/۱	۲۳۲/۳	۲۳۲/۵۳
محل پارگی سیم نول: قطعه ۴-۳									
وضعیت نامتعادل	بدون زمین کردن	متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۲/۸۶	حداقل ولتاژ $[V]$	/۵۷	حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۶/۷		
	با زمین کردن	$R_p + R_e$ $[\Omega]$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۲/۱۸	٪۲/۳۶	٪۲/۴۶	٪۲/۵۳	٪۲/۵۸	٪۲/۶۲	٪۲/۶۵
		حداقل ولتاژ $[V]$	۲۰۳/۱۳	۲۰۲/۴۴	۲۰۲	۲۰۱/۷۸	۲۰۱/۶	۲۰۱/۴۷	۲۰۱/۳۶
		حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۰/۳۵	۲۳۲	۲۳۳	۲۳۳/۶۶	۲۳۴/۱	۲۳۴/۴۱	۲۳۴/۶۷
محل پارگی سیم نول: قطعه ۵-۴									
وضعیت نامتعادل	بدون زمین کردن	متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۴/۵۷	حداقل ولتاژ $[V]$	۱۶۵/۷	حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۷/۱۶		
	با زمین کردن	$R_p + R_e$ $[\Omega]$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۳/۰۴	٪۳/۴	٪۳/۶۲	٪۳/۷۷	٪۳/۸۸	٪۳/۹۷	٪۴
		حداقل ولتاژ $[V]$	۱۸۰/۸۵	۱۷۷/۲	۱۷۴/۹	۱۷۳/۴	۱۷۲/۴	۱۷۱/۵	۱۷۰/۹
		حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۲۸/۰۸	۲۳۰/۲	۲۳۱/۵۴	۲۳۲/۴۴	۲۳۳/۱	۲۳۳/۶	۲۳۳/۹

ادامه جدول (۷): بررسی میزان عدم تعادل ولتاژ در فیدر نمونه به ازای پارگی سیم تول در نقاط مختلف

محل پارگی سیم نول: قطعه ۶-۵								
وضعیت نامتعادل	بدون زمین کردن	متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۵/۷	حداقل ولتاژ $[V]$	۱۴۶/۸	حداکثر ولتاژ $[V]$		۲۵۷/۷
	با زمین کردن	$R_p + R_e$ $[\Omega]$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۳/۴۶	٪۳/۹۵	٪۴/۲۶	٪۴/۴۸	٪۴/۶۴	٪۴/۷۶	٪۴/۸۹
		حداقل ولتاژ $[V]$	۱۷۱	۱۶۵/۶	۱۶۲	۱۵۹/۷	۱۵۷/۹۶	۱۵۶/۶	۱۵۵/۸۸
		حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۷/۳	۲۴۱/۸	۲۴۴/۷	۲۴۶/۷	۲۴۸/۱	۲۴۹/۲	۲۵۰/۱
محل پارگی سیم نول: قطعه ۷-۶								
وضعیت نامتعادل	بدون زمین کردن	متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۴/۷۱	حداقل ولتاژ $[V]$	۱۶۰/۵	حداکثر ولتاژ $[V]$		۲۶۲/۶
	با زمین کردن	$R_p + R_e$ $[\Omega]$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		متوسط شاخص عدم تعادل ولتاژ	٪۲/۲۱	٪۲/۵۹	٪۲/۸۷	٪۳/۱	٪۳/۲۵	٪۳/۴	٪۳/۵۱
		حداقل ولتاژ $[V]$	۱۸۸/۹	۱۸۴/۳	۱۸۱	۱۷۸/۵	۱۷۶/۵	۱۷۴/۹	۱۷۳/۶
		حداکثر ولتاژ $[V]$	۲۳۲	۲۳۷/۳	۲۴۱/۲	۲۴۴/۲	۲۴۶/۵	۲۴۸/۵	۲۵۰
در حالت متعادل در بدترین حالت حداقل ولتاژ برابر ۲۰۹ ولت و حداکثر ولتاژ برابر ۲۲۰ ولت و شاخص عدم تعادل برابر۱/۲۵۷٪ می باشد.								

همانگونه که از جدول (۶) قابل مشاهده است اولاً زمین کردن سیم نول جهت کنترل عدم تعادل ولتاژ در نقاط میانی و انتهایی فیدر ضروری است ثانیاً مقدار مقاومت زمین نقش بسیار تعیین کننده ای در کاهش عدم تعادل ولتاژ دارد و ضروری است مقاومت زمین نقاط زمین شده کمتر از $2\ [\Omega]$ باشد ثالثاً متعادل سازی شبکه موجب کاهش قابل توجه عدم تعادل در شبکه گردیده و احتمال آسیب دیدن مشترکین به واسطه قطع شدن نول وجود نخواهد داشت.

ملاحظه می گردد در عدم تعادل بار شدید حتی زمین کردن سیم نول نیز در کاهش قابل توجه عدم تعادل ولتاژ بی تاثیر است و بایستی شبکه متعادل سازی گردد.

٦- جمع بندی و نتیجه گیری

عمدتاً شبکه های توزیع به واسطه آرایش و تنوع مصرف کنندگان به صورت نامتعادل بهره برداری می شوند که همین مساله موجب عدم تعادل ولتاژ در این شبکه ها خواهد شد. بر خلاف تصور زمین کردن سیم نول در طول شبکه در وضعیت بهره برداری عادی، تاثیر بسیار اندکی در بهبود پروفیل ولتاژ و نیز شاخص عدم تعادل ولتاژ داشته است.

یکی از اتفاقات معمول در شبکه های فشار ضعیف پارگی سیم نول است که موجب عدم تعادل شدید ولتاژ می گردد طبق بررسی بعمل آمده اولاً زمین کردن سیم نول جهت کنترل عدم تعادل ولتاژ در نقاط میانی و انتهایی فیدر ضروری است ثانیاً مقدار مقاومت زمین نقش بسیار تعیین کننده ای در کاهش عدم تعادل ولتاژ دارد و ضروری است مقاومت زمین نقاط زمین شده کمتر از $2\ [\Omega]$ باشد ثالثاً متعادل سازی شبکه موجب کاهش قابل توجه عدم تعادل در شبکه گردیده و احتمال آسیب دیدن مشترکین به واسطه قطع شدن نول وجود نخواهد داشت.

۷- منابع و مراجع:

۱- استاندارد کیفیت تحویلی برق انواع مشترکین –استاندارد شماره ۱۳ توانیر، جلد ۷

۲- پرویز رمضانپور، پروژه تحقیقاتی ((مطالعه تلفات شبکه توزیع برق شهریار))، کارفرما: شرکت توزیع نیروی برق غرب استان تهران، ۱۳۸۰

۳- هادی سعادت، بررسی سیستم های قدرت ج۲ ، ترجمه شایانفر، جدید و کاظمی، چاپ اول، انتشارات علم و صنعت ،۱۳۸۰.